

TERMINSTEUERUNG – DER GROSSE HEBEL ZUM PROJEKTERFOLG

Heinz Ehrbar

1 AUSGANGSLAGE

Im Jahr 1992 stimmte das Schweizer Volk dem Alpentransit-Beschluss zu. Ein konkreter Termin zur Inbetriebnahme wurde in der Abstimmungsvorlage noch nicht genannt [1]. In der zugehörigen parlamentarischen Botschaft ging man von einer Bauzeit von 14 Jahren unter normalen Bedingungen und von 16 Jahren bei ungünstigen Verhältnissen aus. Unter Berücksichtigung der vorgeschalteten Verfahren und unter der Annahme eines zügigen Bauablaufs wurde eine Inbetriebnahme per Ende 2011 zum damaligen Zeitpunkt als realisierbar erachtet. Der Tatendrang wurde jedoch bald durch die neu aufkommende Finanzierungsdiskussion gehemmt, was dazu führte, dass die Plangenehmigungen um Jahre später eintrafen als ursprünglich geplant, mit entsprechenden Auswirkungen auf das Terminprogramm.

Im Zuge der Submissionsphase machte dann die Erstellersgesellschaft AlpTransit Gotthard AG (ATG) von der klaren Priorisierung der Zielvorgaben des Bundes Gebrauch. Dieser gab klar zu verstehen, dass für ihn die Einhaltung des Kostenziels die höhere Priorität habe als die Einhaltung des Terminziels. Die ATG entschied sich deshalb für eine kombinierte Vergabe der Lose Faido und Bodio an dieselbe Bietergemeinschaft, was zu vereinfachten Nahtstellen in der Logistik, zu einem geringeren Installationsaufwand und damit zu einer erheblich günstigeren

Vergabe im Tausch gegen eine um ein Jahr verlängerte Gesamtbaubauzeit führte.

Auf der Nordseite gestalteten sich die Abläufe zur politischen Konsensfindung über die Linienführung und schliesslich auch die Vergabe des letzten Hauptloses in Erstfeld als äusserst schwierig, was ebenfalls zu einer insgesamt mehrjährigen Verschiebung in den geplanten Abläufen führte. Zu guter Letzt ergaben sich aus dem Baugrund trotz sorgfältiger Vorauserkundungen einige positive Überraschungen wie im Teilabschnitt (TA) Sedrun, aber auch einige negative Überraschungen in den Teilabschnitten Faido und Bodio.

All dies stellte die Bauherrenorganisation vor grosse Herausforderungen, um das Ziel einer möglichst raschen und kostengünstigen Realisierung der Bauten auf der Gotthard-Achse zu erreichen. Das Handbuch der ATG und die bundesseitige NEAT-Controlling-Weisung definierten die Prozesse zum Termincontrolling im Sinne einer Terminsteuerung [2].

2 MITTEL UND METHODEN ZUR TERMINSTEUERUNG

Mit den fest ins tägliche Geschehen verankerten Prozessen zur Terminsteuerung wurde sichergestellt, dass die vereinbarten Terminziele auf allen Stufen des Projektes eingehalten oder

Projektphase	Strategische Planung	Vorstudien		Projektierung			Ausschreibung		Realisierung		
	Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien	Projektdefinition, Machbarkeitsstudie	Auswahlverfahren	Vorprojekt	Auflageprojekt *)	Bauprojekt	Ausschreibung	Vergabe	Ausführungsprojektierung	Ausführung	Inbetriebnahme/Projektabschluss
Phasenziele	Bedürfnisse, Ziele und Rahmenbedingungen definiert, Lösungsstrategie festgelegt	Vorgehen und Organisation festgelegt, Projektierungsgrundlagen definiert, Machbarkeit nachgewiesen	Anbieter/Projekt ausgewählt, welche den Anforderungen am besten entsprechen	Konzeption und Wirtschaftlichkeit optimiert	Projekt bewilligt, Kosten und Termine definiert	Projekt und Kosten optimiert, Termine verifiziert, Baukredit genehmigt	Vergabereife erreicht	Werkvertrag unterzeichnet	Ausführungsreife erreicht	Bauwerk gemäss Pflichtenheft und Vertrag erstellt	Bauwerk übernommen und in Betrieb genommen, Schlussabrechnung abgenommen, Mängel behoben
Input	Verkehrsprognosen, Netzanalyse	Grundsatzentscheid BR	Trassierungsvarianten	Variantenentscheid	Vorprojekt, Kostenschätzung UVB Stufe 2	Auflageprojekt, inkl. Auflagen aus Plangenehmigungsverfügung	Bauprojekt	Unternehmerangebote	Bauprojekt, Unternehmeranschläge	Werkvertrag	Fertiges Projekt
Output	Grundsatzentscheid BR	Sachplan	Auswahl Bestvariante (Variantenentscheid)	Vorprojekt, Kostenschätzung UVB Stufe 2	Auflageprojekt, rev. Kostenschätzung UVB Stufe 3 (sofern erforderlich)	Bauprojekt, Kostenvoranschlag	Ausschreibungsdokumente, Unternehmerangebote	Vergabeverfügung, unterschriebener Werkvertrag	Ausführungsfreies Projekt	Vertragsgemäss erstelltes Projekt	Dokumentation (Pläne, Vorschriften) Schlussabrechnung
Meilensteine		Abstimmung über Alpentransit-Beschluss			FinV - Abstimmung			Unterzeichnung Werkverträge		Baubeginn Abnahmen	Beginn fahrplannässige Nutzung
Entscheide Besteller (Bund)	Alpentransit-Beschluss			Entscheid zur Linienführung und Etappierung (Bundesrat)	Plangenehmigungsverfügung (PGVI)	Finanzierungsbeschluss			Genehmigung Detailprojekte	Freigabeverfügung Versuchsbetrieb und Testbetrieb	Bewilligungen für den Probe- und den kommerziellen Betrieb (BAV) Genehmigung Projektabschlussrechnung (UVEK)
Entscheide Ersteller (ATG)				Genehmigung Vorprojekt		Genehmigung Bauprojekt/ Kreditfreigabe Ersteller	Eignungsprüfung der Anbieter	Auswahl wirtschaftlich günstigstes Angebot (Vergaben)	Planfreigaben	Abnahme des Werks	

Quelle: Heinz Ehrbar

► Bild 1 Phasenbezogener Projekttablauf

*) Im Leistungsmodell SIA 112 folgt das Auflageprojekt auf das Bauprojekt

aber Abweichungen frühzeitig erkannt wurden, um rechtzeitig gegensteuern zu können. Die folgenden Informationen wurden dabei kontinuierlich und stufengerecht gepflegt [2]:

- » aktuelle Sollwerte (Terminbezugsbasis),
- » Ist-Zustand zum Berichtszeitpunkt,
- » Prognosewerte für die verbleibende Projektdauer,
- » geplante Massnahmen zum Aufholen von zielgefährdenden Verspätungen.

Die Terminsteuerung war von Anbeginn an ein fester Bestandteil der übergeordneten Projektsteuerung und orientierte sich an den vordefinierten Meilensteinen [2] sowie den zugehörigen Besteller- und Erstellerentscheiden.

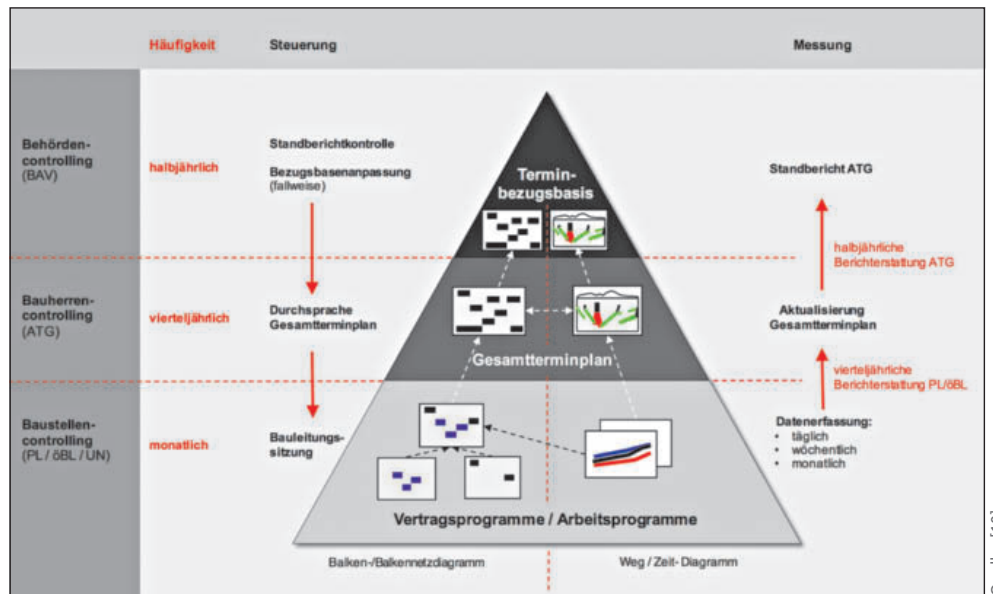
Zur Terminsteuerung wurden die folgenden Hilfsmittel eingesetzt:

- » vernetzte Balkendiagramme (MS Project),
- » Weg-Zeit-Diagramme (AutoCAD, SiSo),
- » generelle Übersichtsdarstellungen (Grafiken).

Ab 1997 wurde die systematisierte Berichterstattung an den Besteller in Form von halbjährlichen Standberichten eingeführt. Zu jenem Zeitpunkt liefen auch schon die ersten baulichen Vorarbeiten. Die stufengerechte Terminsteuerung begann zu greifen und wurde mit Projektfortschritt entsprechend verfeinert und weiterentwickelt (siehe ►Bild 2).

Den Baustellen der Hauptlose am Gotthard-Basistunnel (GBT) wurde mit der Projektsteuerungssoftware SiSo ein leistungsfähiges Instrument zur Termin- und Kostensteuerung auf Baustellenebene zur Verfügung gestellt (siehe XVI 6 «Informations-Management als wichtiger Erfolgsfaktor»). Der tägliche Arbeitsfortschritt wurde erfasst (Ist-Kurve) und mit dem Vertragsprogramm (Soll-Kurve, Bezugsbasis) und mit der gemäss vertraglichen Regelungen massgebenden Abrechnungsbauzeit abgeglichen. Sofern gegenüber dem Vertragsabschluss keine neuen Erkenntnisse vorlagen, wurde für die Vorausschau jeweils angenommen, dass die vertraglich vereinbarten Leistungen erreicht werden, woraus wöchentlich das jeweilige Vortriebsende neu prognostiziert wurde (siehe ► **Bilder 3a und b**).

Die so gewonnenen Daten wurden manuell (heute gäbe es wohl geeignete EDV-Lösungen) in die Weg-Zeit-Darstellung des Gesamtterminprogramms übertragen. Im Rahmen der vierteljährlichen Termindurchsprachen zwischen dem Bauherrn (Rohbau und Bahntechnik), dem Projektingenieur, der ört-

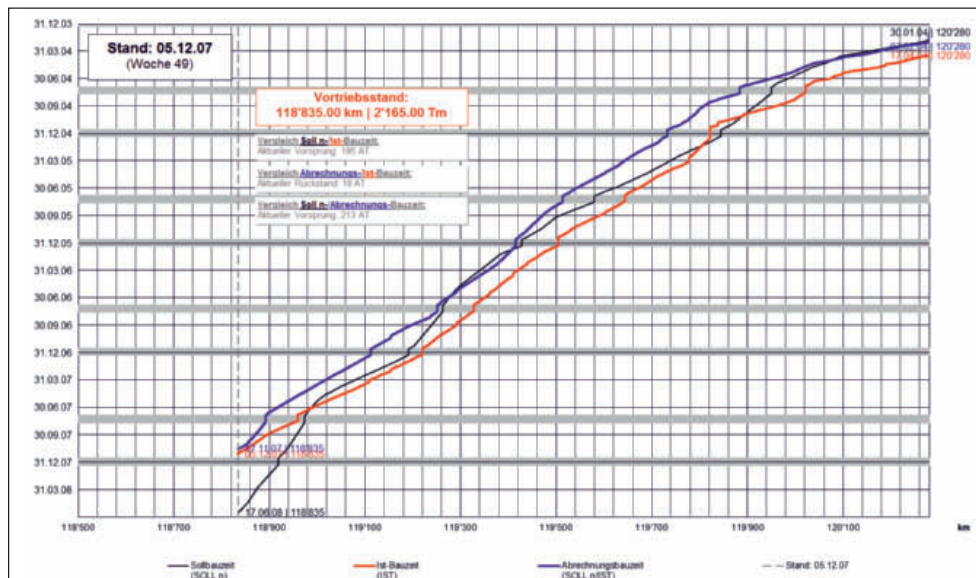
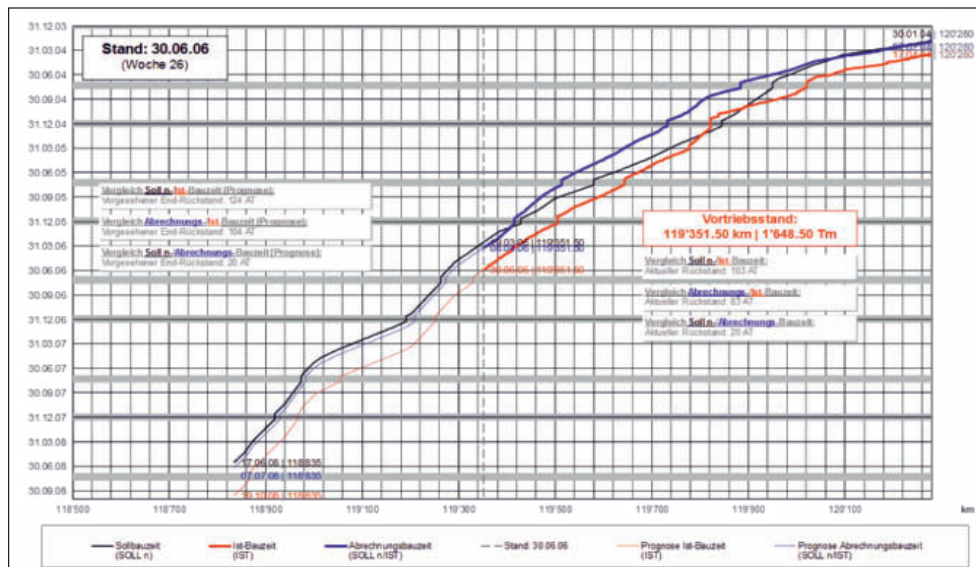


► **Bild 2** Hierarchie der Terminsteuerungsdokumente

lichen Bauleitung sowie den jeweiligen Experten wurden im Gesamtterminprogramm die Auswirkungen auf die Nachfolgeaktivitäten und die Nahtstellen ermittelt und so die allfällig notwendigen Gegensteuerungsmassnahmen hergeleitet (siehe ► **Bild 4**). Als äusserst wirksames Instrument in der internen und externen Kommunikation erwies sich die Meilenstein-Trendanalyse (siehe ► **Bild 5**) mit entsprechender grafischer Auswertung. Der geübte Betrachter erkennt rasch, wo die Schwerpunkte der terminlichen Abweichungen liegen, und kann die Abhängigkeiten unter den Meilensteinen plausibilisieren. Es empfiehlt sich, nebst den baulichen Meilensteinen auch die Meilensteine der politischen Entscheidungsfindung und der Verfahren entsprechend zu verfolgen und darzustellen.

3 ERARBEITUNG DER TERMINPROGRAMME IN DER PROJEKTIERUNGSPHASE

«Zeit ist Geld» – dieses Sprichwort gilt insbesondere auch für langjährige Projekte. Je länger die Projektdauer, desto höher werden in der Regel die Endkosten eines Projekts. Die kostentreibenden Faktoren sind die Teuerungsentwicklung, zeitabhängige Baukosten, je nach Finanzierungsart die Kapitalkosten, aber auch die Folgen aus einer mit der Zeit abnehmenden Rechtssicherheit. Bei einer erheblich zu langen Realisierungsdauer fallen zusätzlich entgangene Trasseneinnahmen aus dem Projekt selbst und aus (wegen der höheren Kosten) anderweitig zurückgestellten Projekten an. All diese Effekte beeinträchtigen die Gesamtwirtschaftlichkeit eines solchen Vorhabens und des Verkehrssystems Schiene enorm. Es musste deshalb ein bauliches Konzept gefunden werden, welches unter Berücksichtigung vieler anderweitiger Randbedingungen eine möglichst hohe Terminalsicherheit und die notwendigen strategischen Handlungsspielräume im Falle von Abweichungen bot. Bereits das Bauprojekt im Jahr 1975 der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) – ein 46 km langer Doppelspurtunnel – enthielt ein Vortriebskonzept mit drei Zwischenangriffen



► **Bilder 3a und b** Beispiel zur Terminsteuerung auf der Baustelle (Vortrieb Sedrun Nordwest)

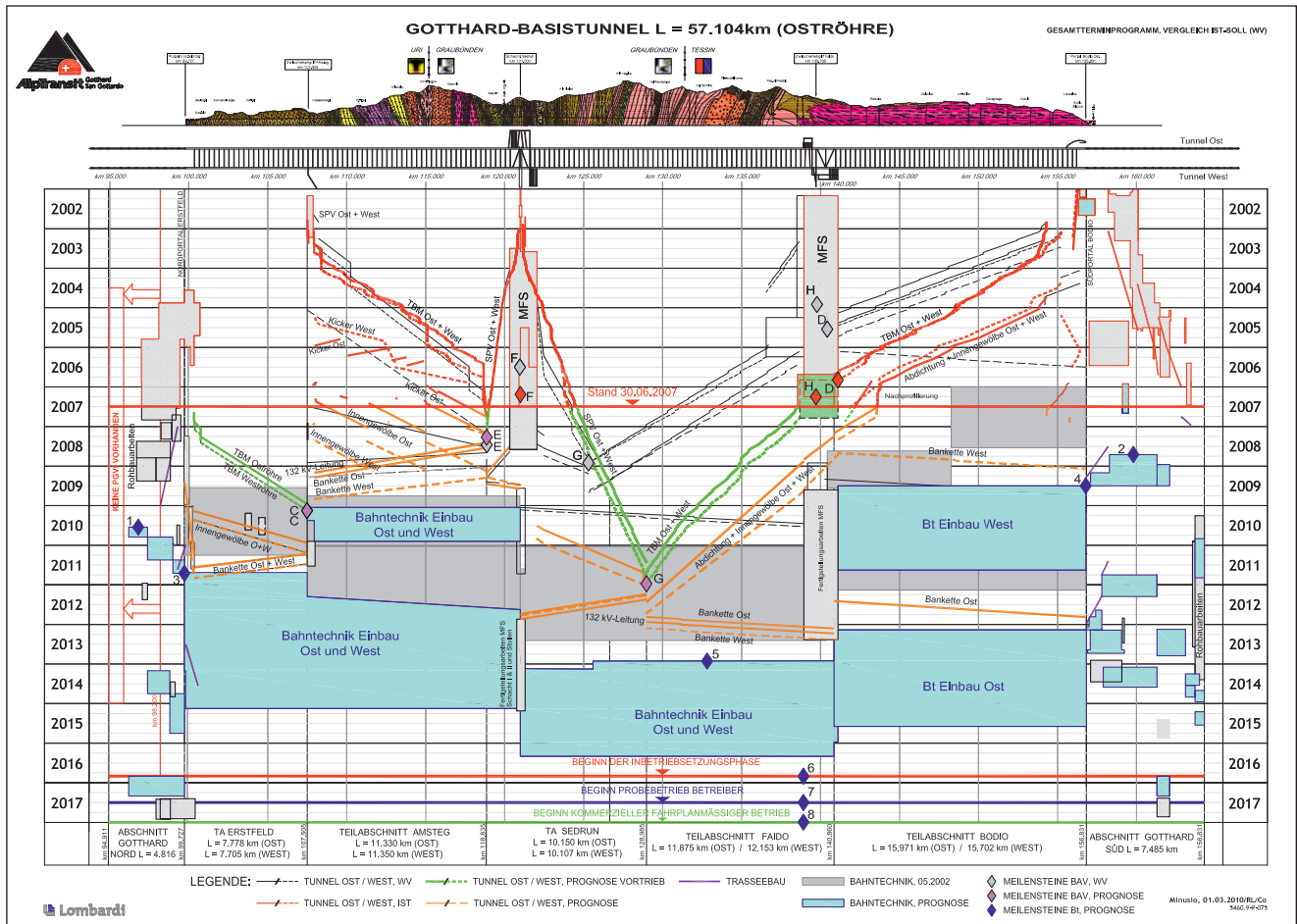
und zwei Vortrieben von den Portalen aus. Die Erschließung der Zwischenangriffe wäre über Schächte im Raum Tavetsch, Santa Maria und Chiggonia erfolgt, wobei der Vortrieb vom Schachtfuss aus sowohl nach Norden als auch nach Süden vorgenommen worden wäre. Von den theoretisch möglichen acht Hauptvortrieben wären maximal sechs parallel betrieben worden. An insgesamt vier Durchschlagspunkten hätten sich Handlungsspielräume in Form von Verschiebungen der Losgrenzen ergeben (siehe ► **Bild 6**). Im Gefolge der politischen Meinungsbildung wurde der GBT um den Teilabschnitt Erstfeld auf eine Gesamtlänge von 57 km verlängert. Das Konzept mit drei Zwischenangriffen wurde beibehalten. Allerdings war nur noch in Sedrun ein Erschließungsschacht vorgesehen, um die im Nord- und Südortrieb erwarteten bautechnisch schwierigen tektonischen Einheiten parallel zu den übrigen Teilabschnitten in Angriff zu nehmen. Auf den «Lukmanierschacht» im Gebiet des Stausees Santa Maria wurde hingegen verzichtet, nicht zuletzt wegen der grossen Schachttiefe von rund 1'300 m. Neue

Zugangsstollen wurden in Amsteg und in Faido geplant. Die Vortriebe für die Tunnelröhren ab den Fusspunkten erfolgten primär nur in einer Richtung (Amsteg nach Süden, Faido nach Norden), womit noch an den zwei Durchschlagsstellen Amsteg/Sedrun und Faido/Sedrun Handlungsspielräume in Form von Losgrenzenverschiebungen bestanden. Beim neu gewählten Tunnelkonzept mit zwei Einspurröhren wäre mindestens kurzfristig an maximal zwölf Hauptvortriebsstellen parallel gearbeitet worden. Massgebend für die zu erzielenden Vortriebsleistungen war die Wahl der Vortriebsmethode. Denn für die Vortriebe mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) waren rund dreifach höhere Vortriebsleistungen gegenüber dem konventionellen Vortrieb zu erwarten. Der Bauherr erarbeitete deshalb jeweils zwei Terminprogramme basierend auf mehrheitlichem TBM-Vortrieb und basierend auf mehrheitlich konventionellem Vortrieb, um Programme für den Offertvergleich zu haben. Wie andernorts beschrieben [4], wurde die Wahl der Vortriebsmethode, wo es die Randbedingungen erlaubten,

dem Markt überlassen. Schliesslich erwies sich die in ► **Bild 8** dargestellte Kombination an Vortriebsmethoden als die wirtschaftlich günstigste Lösung. Nach Abschluss der Vergaben für die Hauptlose Amsteg, Sedrun, Faido und Bodio wurde auf Basis der Werkvertragsprogramme ein aktualisiertes Gesamtterminprogramm erarbeitet und vom Verwaltungsrat der ATG im Mai 2002 genehmigt, welches eine Inbetriebnahme des GBT per Ende 2014 vorsah (siehe ► **Bild 9**). Dieses Programm war die Messlatte für die Steuerung der einzelnen Baustellen.

4 HERAUSFORDERUNGEN WÄHREND DER AUSFÜHRUNG

Im Zuge der Ausführungsarbeiten ergaben sich wesentliche Herausforderungen an die Terminsteuerung, kam es doch aus verschiedenen Gründen zu erheblichen Abweichungen von der ursprünglichen Bauabsicht, welche entsprechend beherrscht werden mussten (siehe ► **Bild 4**).



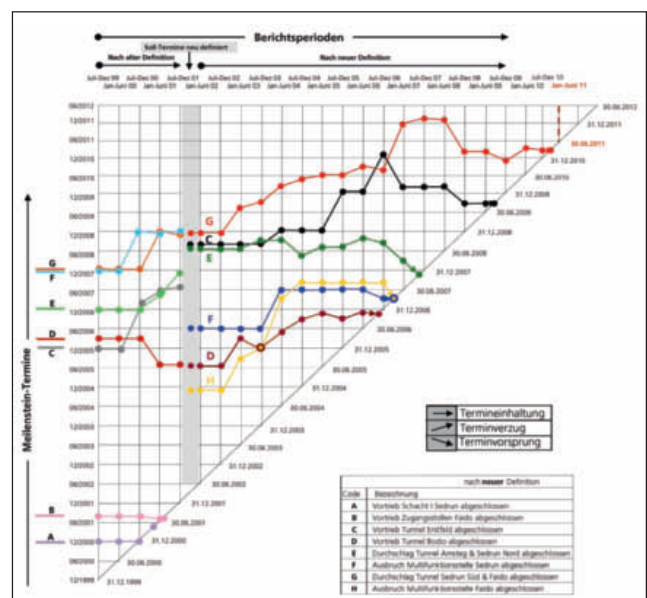
Quelle: ATG/Lombardi

► Bild 4 Beispiel eines Gesamtterminplans mit Vergleich zur Bezugsbasis [3]

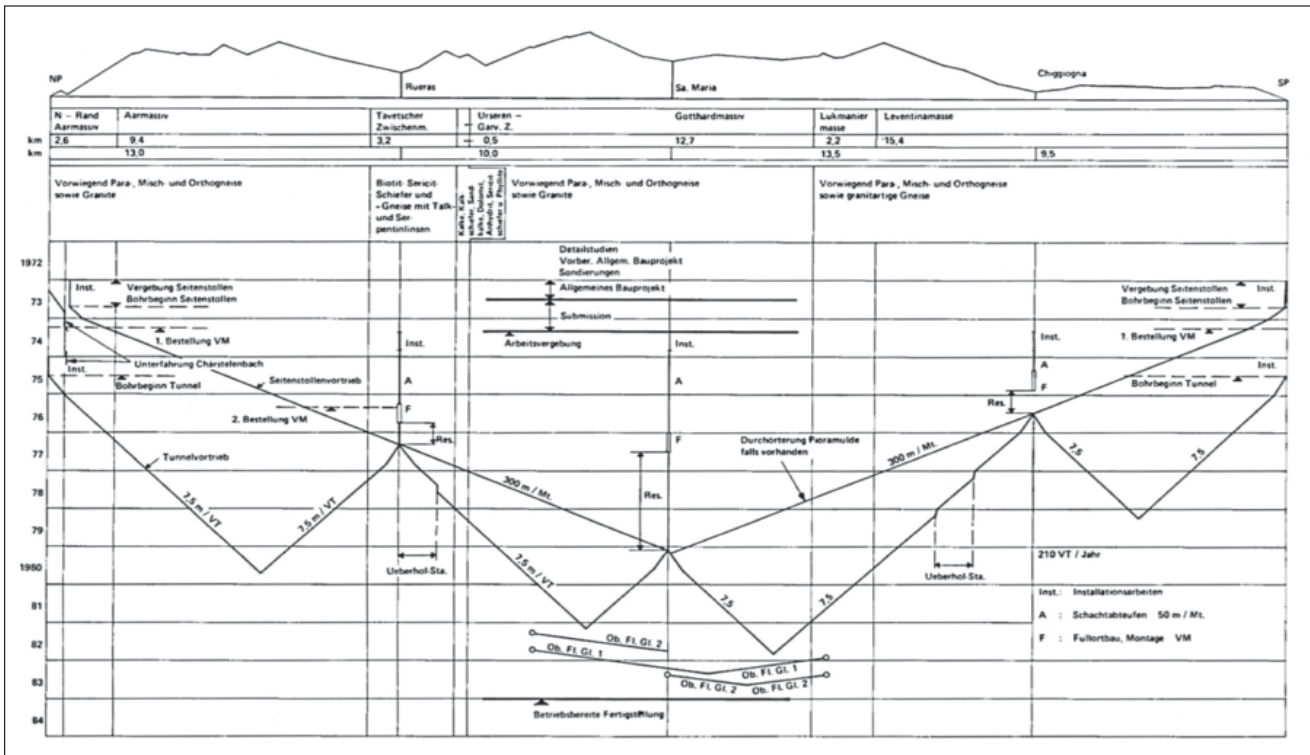
4.1 Politisch bedingte Verzögerungen

Die vier TA Amsteg, Sedrun, Faido und Bodio wurden am 31. August 1995 zur Genehmigung eingereicht und erhielten die Plangenehmigung dann per 15. Februar 1999. Für den TA Erstfeld erfolgte die Einreichung am 3. November 1997. Mit einer Einsprache forderte die Urner Kantonsregierung, dass im TA Erstfeld bauliche Massnahmen vorgesehen werden, um eine künftige unterirdische Verbindung zwischen dem nördlich gelegenen Axentunnel und dem GBT, die sogenannte Projektvariante «Uri Berg lang – Axen, UBLA», zu ermöglichen. Auch für den nördlich anschliessenden offenen Abschnitt entbrannte eine Auseinandersetzung über die Dimensionierung der Überholgleisanlagen und die Höhenlage der Trasseeführung. Bis die entsprechenden Kompromisse gefunden wurden und verfahrensmässig abgewickelt waren, verstrichen mehrere Jahre. Die Plangenehmigungsverfügung für den TA Erstfeld wurde schliesslich per März 2004, das heisst rund fünf Jahre nach den übrigen Abschnitten, erteilt. Die Plangenehmigungen für die offene Strecke im Kanton Uri folgten in zwei Schritten per März 2004 und per Oktober 2007. Die letzten Hürden zum Bau waren damit aber immer noch nicht genommen, denn gegen die von der ATG per 11. August 2005 vorgenommene Vergabe des letzten Hauptloses Erstfeld wurde von einem Anbieter zweimal Einsprache gegen den Vergabeentscheid eingereicht. Die rechtsgültige Vergabe konnte erst per 9. Februar 2007 er-

folgen, was einer weiteren Verzögerung von 18 Monaten entsprach. Der Vortrieb in Erstfeld konnte erst am 4. Dezember 2007 starten, insgesamt vier Jahre später als im Bauprojekt 1997 vorgesehen (siehe ► Bild 7).



► Bild 5 Meilenstein-Trendanalyse [3]



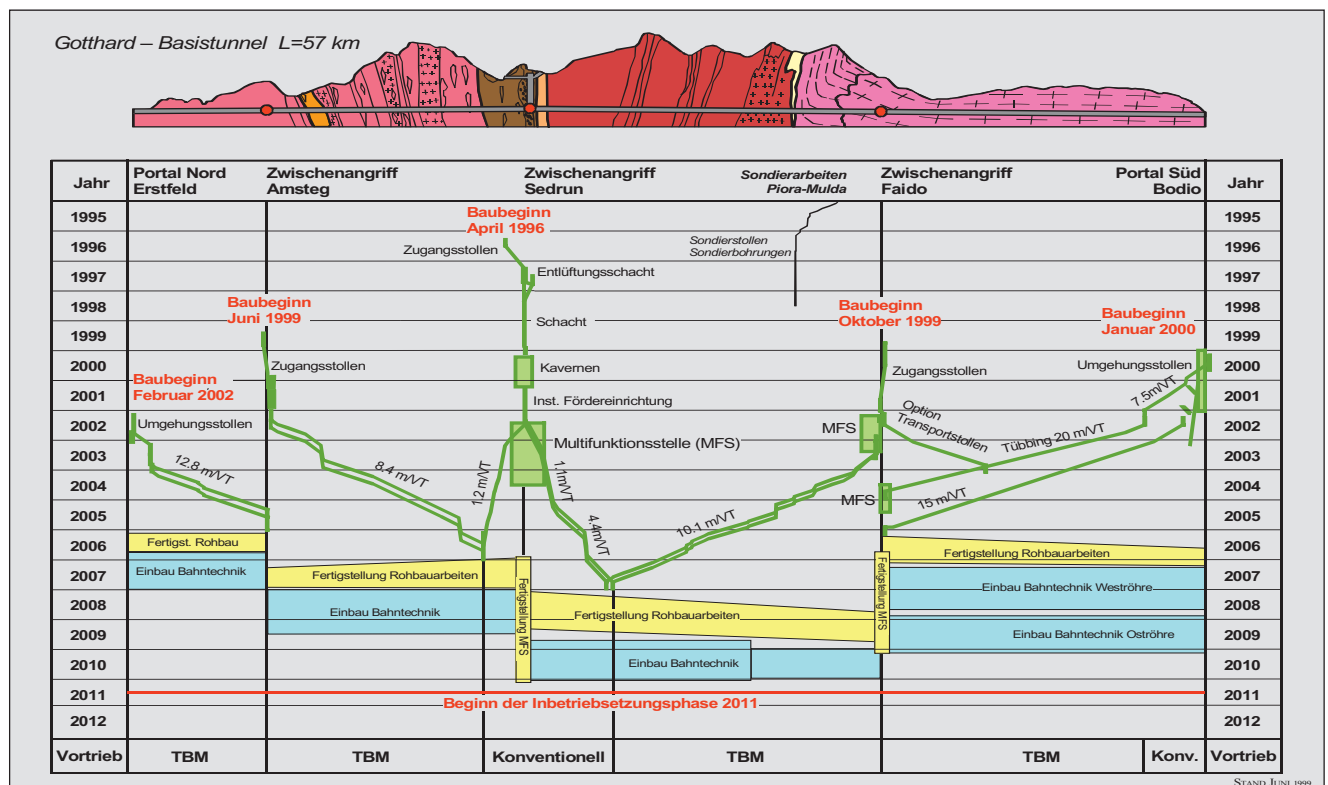
Quelle: [4]

► Bild 6 Bauprogramm für das Bauprojekt 1975 (Stand 1971) der SBB

4.2 Baugrundbedingte Terminverschiebungen

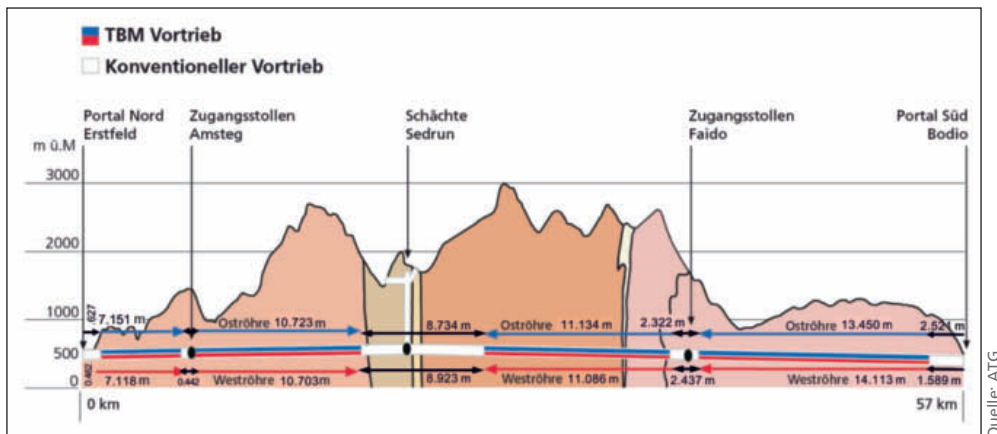
Trotz sorgfältigster Vorabklärungen muss im Tunnelbau oftmals zur Kenntnis genommen werden, dass sich die Verhältnisse während der Ausführung aus verschiedenen Gründen nicht so prä-

sentieren wie ursprünglich angenommen. Diese Erfahrung wurde auch beim Bau des GBT gemacht. Der Baugrund erwies sich in den Teilabschnitten Erstfeld, Amsteg und Sedrun über weite Strecken so wie prognostiziert, was es erlaubte, die Vortriebe über



Quelle: ATG

► Bild 7 Bauprogramm für das Bauprojekt 1997



► **Bild 8** Vortriebsmethoden am GBT

weite Strecken innerhalb der vorgesehenen Fristen oder gar et-
 was schneller auszuführen. Anders präsentierte sich die Situation
 in den beiden südlichen Teilabschnitten Bodio und Faido: Primär
 aufgrund unvorhergeseher schwieriger Baugrundverhältnisse
 dauerten die Vortriebe erheblich länger als ursprünglich geplant.
 Eine rund 500 Meter lange, den Tunnelvortrieb in der Oströhre
 Bodio begleitende horizontale Störzone führte im Jahr 2003 zu
 einem Bauzeitverlust von mehreren Monaten. Später, kurz vor
 dem Einfahren der TBM in die Multifunktionsstelle (MFS) Faido,
 kamen noch druckhafte Erscheinungen dazu, welche wiederum
 einen erheblichen zeitlichen und materiellen Mehraufwand be-
 deuteten. Für den Ausbruch der MFS Faido präsentierten sich
 die Verhältnisse noch ungünstiger: Mit einem ersten Niederbruch-
 ereignis zu Beginn der Ausbrucharbeiten im April 2002 gab
 es ein erstes Indiz für veränderte Baugrundverhältnisse. Diese
 Vermutung bestätigte sich aufgrund ausgedehnter zusätzlicher
 Sondiermassnahmen im Herbst 2003. Als Folge der Erkenntnisse
 aus den Sondierungen musste die gesamte MFS Faido bei
 laufendem Baubetrieb umdisponiert werden. Die ungünstigen
 Verhältnisse konnten für die MFS erst im März 2007
 für den Vortrieb der Einspur-
 tunnelröhren (EST) und im
 Sommer 2008 mit dem Er-
 reichen der Faltenachse der
 Chièra-Synform endgültig
 überwunden werden. Daraus
 resultierte ein Bauzeitverlust
 von ungefähr zwei Jahren
 für den Tunnelvortrieb. Die
 ATG sah sich deshalb bereits
 im Verlaufe des Jahres 2005
 mit der Situation konfrontiert,
 dass der vertraglich vorge-
 sehene Durchschlagspunkt
 nach Norden zum TA Sedrun
 bei Km 125.641 zum vorge-
 sehenen Zeitpunkt im Herbst
 2008 von der südlichen

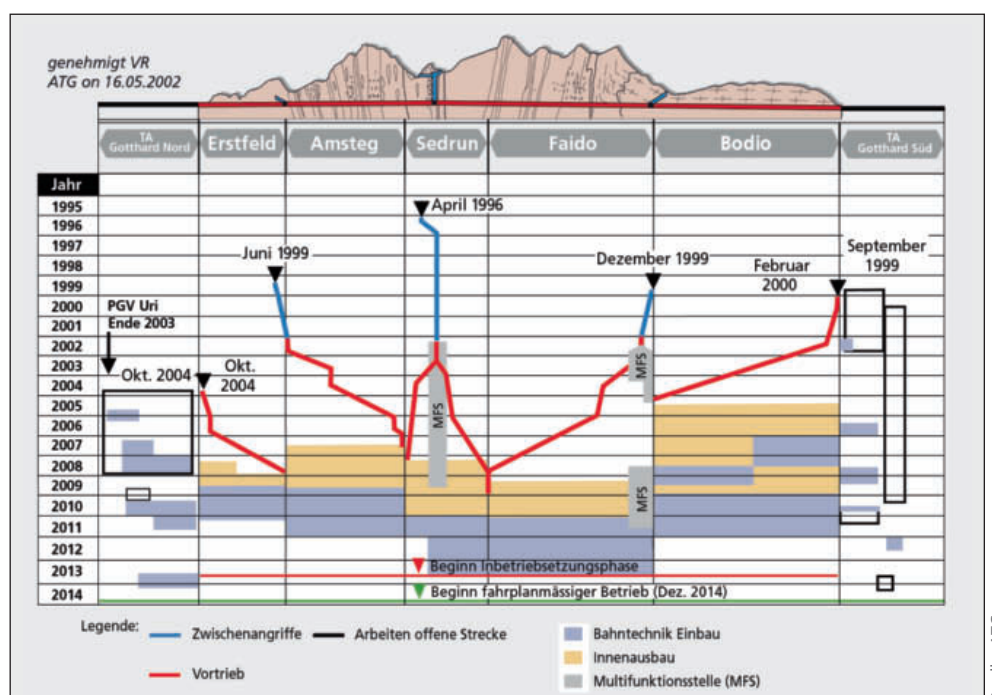
Seite her nicht mehr erreicht werden konnte. Umgekehrt zeigte die im Südvortrieb Sedrun vorhandene bautechnisch schwierig eingestufte Urseren-Garvera-Zone ein in zweierlei Hinsichten wesentlich günstigeres Verhalten: Zum einen war sie wesentlich kürzer als prognostiziert, zum anderen trat das erwartete druckhafte Verhalten kaum auf. Anstelle der vertraglich vereinbarten Vortriebsgeschwindigkeit von ca. 1.0 m/AT wurde diese Zone

mit rund 4.0 m/AT durchfahren, was innert kurzer Zeit einen Vorsprung von rund einem Jahr auf das Vertragsprogramm bedeutete [7]. In Anbetracht der prognostizierten zeitlichen Klaffung von rund drei Jahren an der Losgrenze waren die Projektverantwortlichen im Verlaufe des Jahres 2005 vor die Alternative gestellt, entweder bei unveränderten Bestellungen eine erhebliche Bauzeitverlängerung in Kauf zu nehmen oder aber die Losgrenze zwischen den Teilabschnitten Sedrun und Faido in einem solchen Ausmass zu verschieben, dass die kürzestmögliche Gesamtbauzeit erreicht würde.

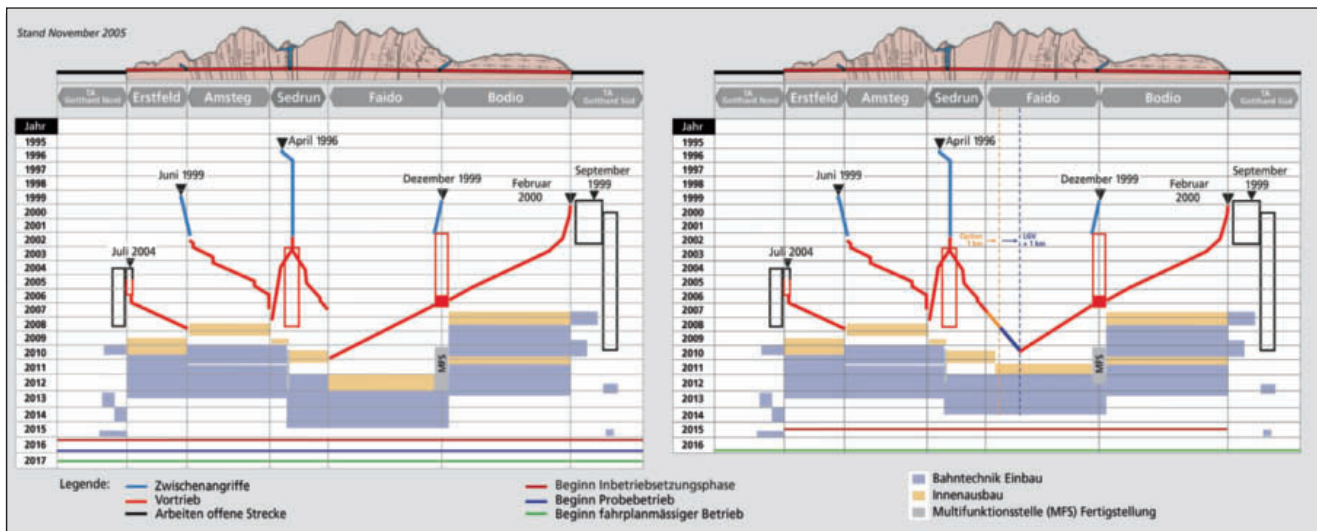
5 ERARBEITUNG UND NUTZUNG VON HANDLUNGSSPIELRÄUMEN

5.1 Vertraglich vorgesehene Handlungsspielräume

Um sich die notwendigen Handlungsspielräume zu erhalten, sah der Bauherr in all jenen Fällen, wo die Vortriebe sich in



► **Bild 9** Bauprogramm 2002 auf Basis der Werkvertragsprogramme

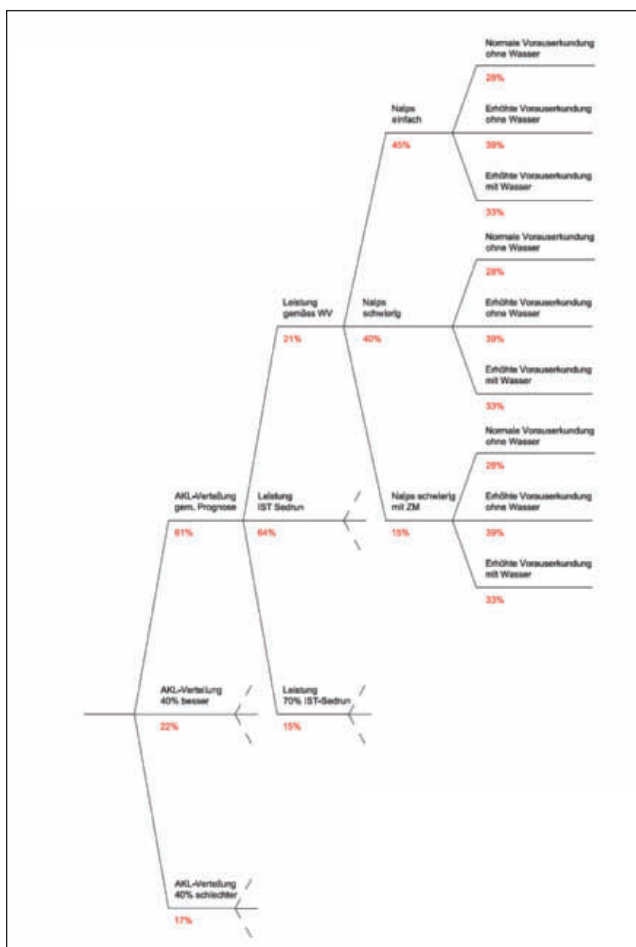


Quelle: ATG

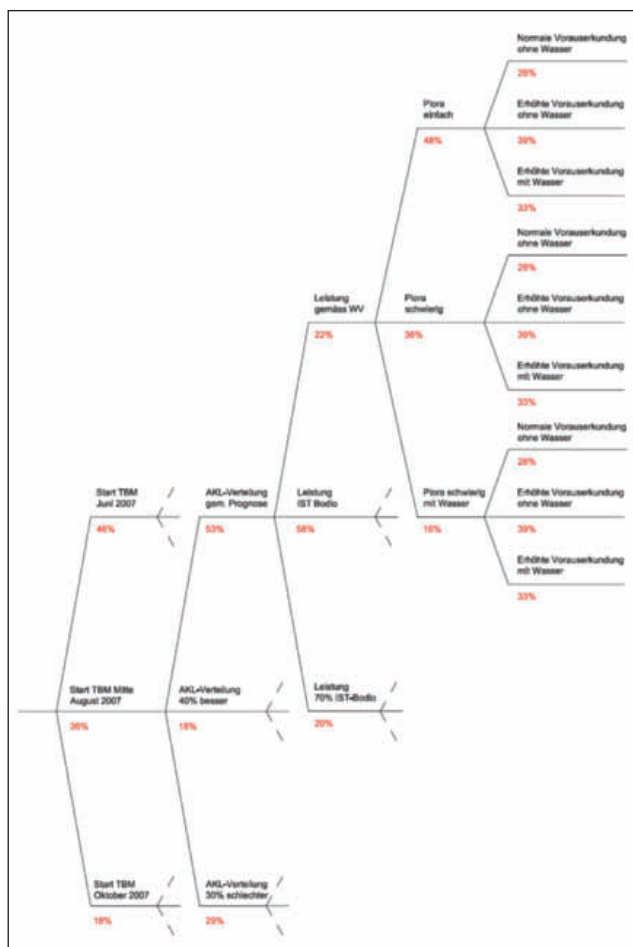
► Bilder 10a und b Bauprogrammszenarien ohne (links) und mit Losgrenzenverschiebung (rechts)

gegenläufiger Richtung bewegten, Optionen für zusätzliche Vortriebe vor, falls das eine oder das andere Baulos den Vortrieb nicht bis zum vertraglich vereinbarten Durchschlagspunkt ausführen konnte. Die optionalen Vortriebe in den benachbarten Bereich hinein betrugen an der Losgrenze Amsteg-Sedrun zweimal 500 m und an der Losgrenze Sedrun-Faido 1'000 m.

Für die Losgrenze Sedrun–Faido ergab sich somit ein Überlappungsbereich von 2000 m, was je nach Vortriebsart einem zeitlichen Handlungsspielraum von rund drei bis zwölf Monaten entsprach. Die Terminalsituation im Jahr 2005 überstieg die vertraglich vorgesehene Bandbreite deutlich, sodass der Bauherr entscheiden musste, ob er im TA Sedrun eine Zusatz-

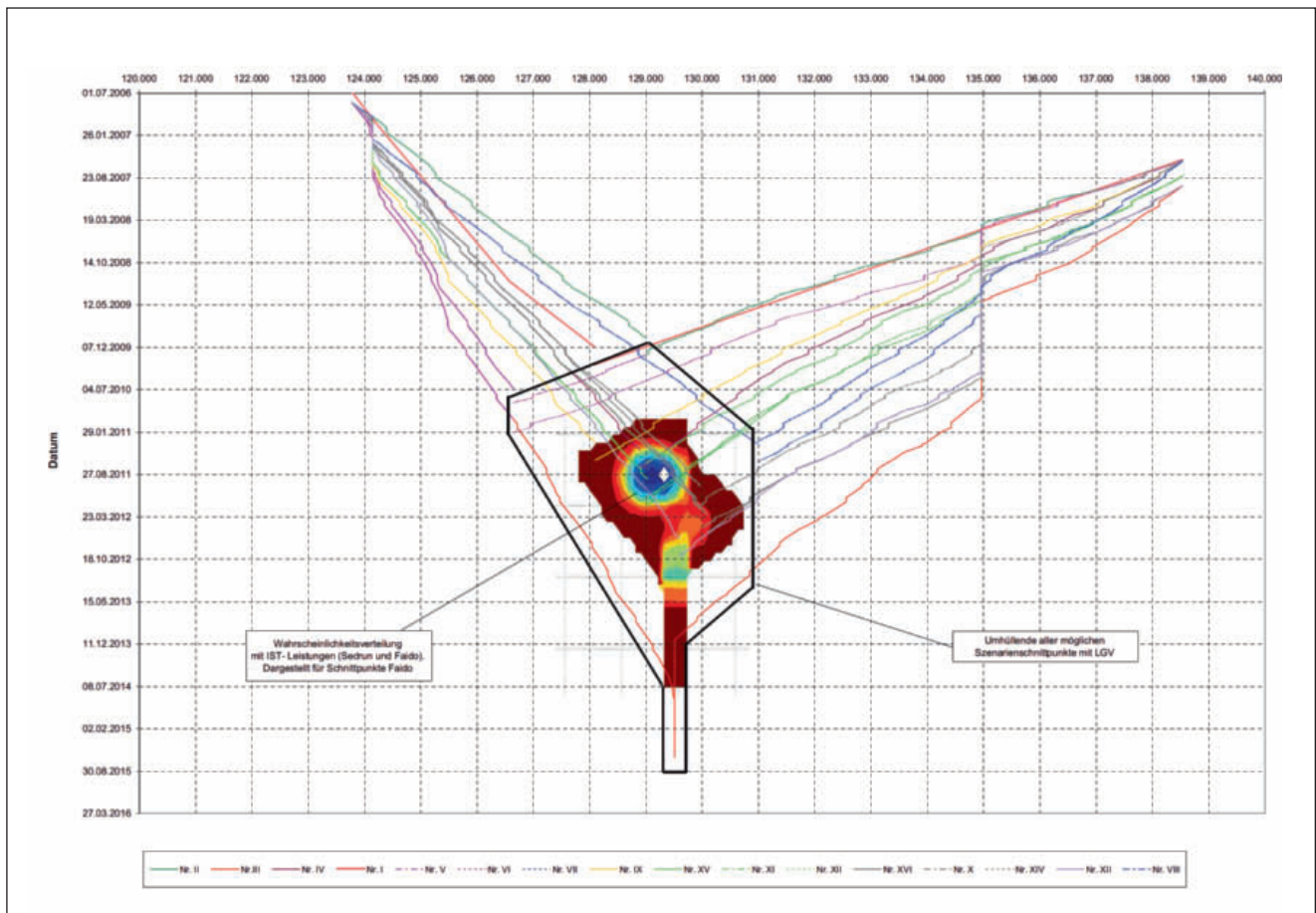


Quelle: [9]



Quelle: [9]

► Bilder 11a und b Entscheidungsbäume zur Optimierung des Durchschlagspunktes Sedrun–Faido



Quelle: [9]

► Bild 12 Wahrscheinlichkeitsverteilung typischer Durchschlagsszenarien

bestellung für Vortriebe über die vertragliche Option hinaus auslösen wollte – und dies bei gleichzeitigem Anmelden einer entsprechenden Minderbestellung beim Unternehmer (UN) der Loskombination Faido/Bodio. Da ein solches Unterfangen mit einigen Risiken behaftet war, bestand seitens des Bauherrn das grosse Interesse, die künftigen Vortriebszenarien möglichst gut eingrenzen zu können.

5.2 Verschiebung der Losgrenze Sedrun-Faido

Die Aufgabe, einen neuen Durchschlagsort und -zeitpunkt festzulegen, scheint zunächst einfach: Es genügt, im Weg-Zeit-Diagramm die von Norden kommende Vortriebslinie so weit zu verlängern, bis sie die Linie des prognostizierten Vortriebs von Süden her schneidet. Diese an sich einfache Aufgabe wird aber dadurch erschwert, dass sowohl die Baugrundverhältnisse als auch die Vortriebsleistungen in den prognostizierten Verhältnissen nur schwer vorhersagbar sind. Zudem befand sich der Südvortrieb von Sedrun her seit 2005 im Einflussbereich der Stauhaltung Nalps. Trotz wenigen Wasserzutritten zum Tunnelvortrieb wurden an der Geländeoberfläche respektable Verformungen gemessen, was zu zeitraubenden Injektionsmassnahmen hätte führen können. Im TA Faido stand die Querung der Piora-Zone bevor, über deren bautechnisches Verhalten trotz günstiger Prognose Unsicherheit bestand. Die folgenden Parameter wurden deshalb als Schlüsselfaktoren für die Vortriebsleistung bestimmt:

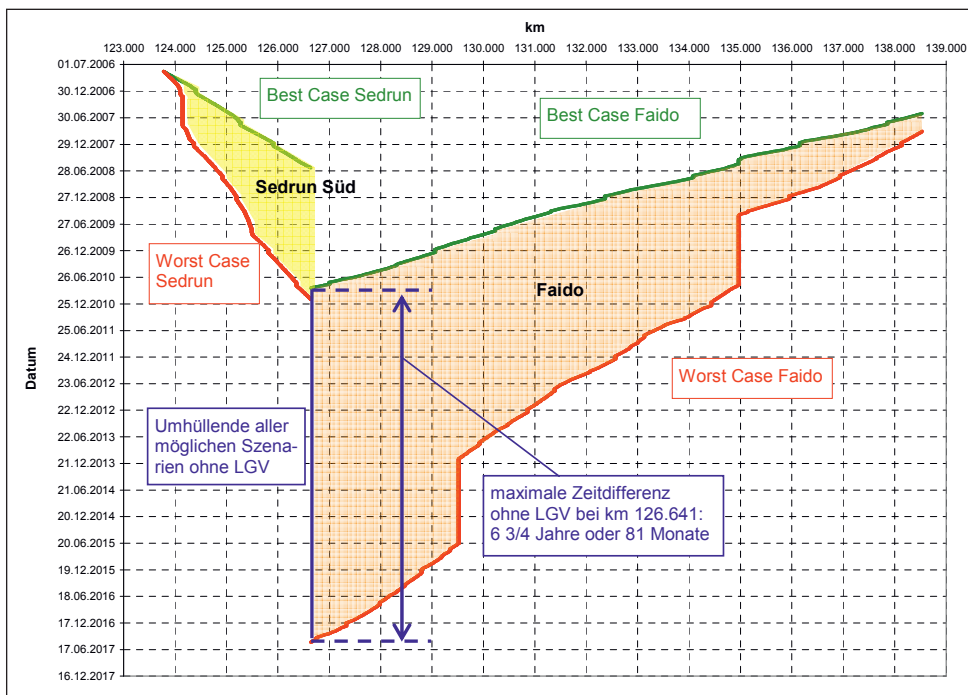
1. Baugrundverhältnisse,
2. Vortriebsleistungen des Unternehmers,
3. Unterquerung Stauhaltung Nalps (Sedrun)/Durchquerung Piora-Zone,
4. Sondieraufwand im Bereich der Stauhaltungen (Anteil preventergeschützter Kernbohrungen).

Im TA Faido war zudem der Vortriebsbeginn mit den TBM abhängig vom Durchschlag von Bodio her und von der Zeit zum Umsetzen und zum Revidieren der beiden Maschinen in Faido. Mit diesen Schlüsselkriterien liessen sich Fehlerbäume konstruieren, welche für den TA Sedrun aus $3^4 = 81$ Szenarien bestanden, im TA Faido wiederum aus $3^5 = 243$ Szenarien, womit ein theoretisches Maximum von 19'683 Durchschlagsszenarien entstand. Bezüglich der Baugrundverhältnisse war davon auszugehen, dass diese für beide Vortriebsmethoden ähnlich sein würden, sodass darauf verzichtet wurde, das Best-Case-Szenario im konventionellen Vortrieb mit dem Worst-Case-Szenario des TBM-Vortriebs zu kombinieren. Damit konnten die potenziellen Szenarien um den Faktor 3 auf 6'561 reduziert werden. Es galt nun aus der grossen Zahl der Szenarien den Bereich der wahrscheinlichsten Fälle zu bestimmen. Wie so oft im Untertagbau fehlte zur Beantwortung dieser Frage statistisch belastbares Datenmaterial, weshalb zum Mittel der Expertenbefragung (Delphi-Methode) gegriffen werden musste, um die Eintretenswahrscheinlich-

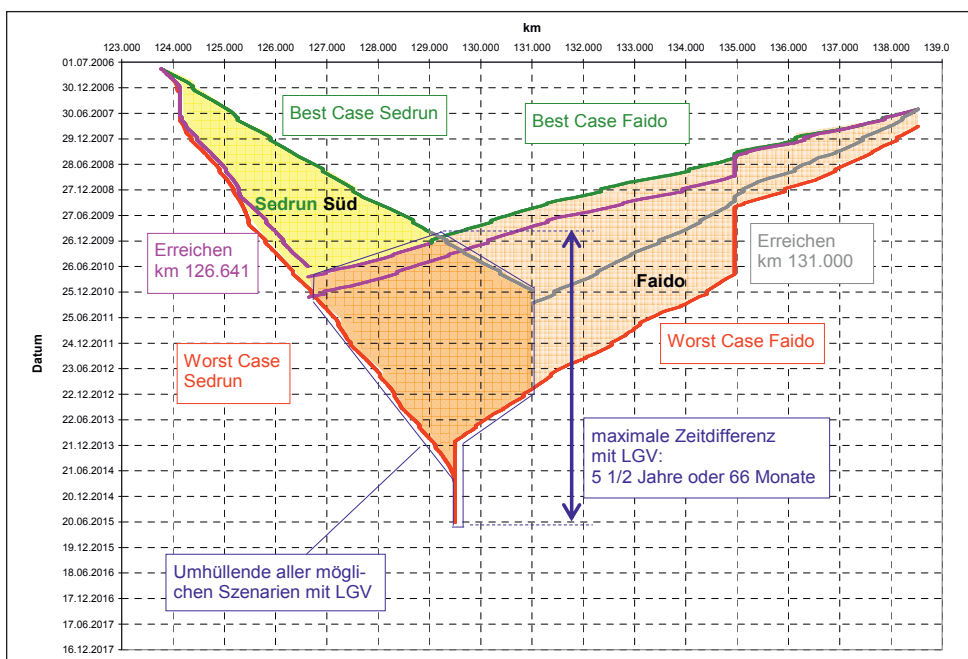
keiten vernünftig abzuschätzen. Mehrere Experten aus beiden Teilabschnitten (Projektingenieure, Bauleiter, Bauherr, Prüfsingenieur, alle mit Projektkenntnissen) wurden zu ihrer Einschätzung der Wahrscheinlichkeit jedes Grundparameters befragt. Die Extremwerte der Beurteilung wurden eliminiert und aus den restlichen Bewertungen der Durchschnitt gebildet. Die so ermittelte Wahrscheinlichkeit bildete die Ausgangsgrösse für die weiteren Folgebetrachtungen. Jedes ermittelte Durchschlagsszenario hatte somit seine eigene Wahrscheinlichkeit. Über alle Szenarien wurde die Wahrscheinlichkeitsverteilung mit einem gängigen Statistikprogramm ermittelt

(siehe ► Bild 12). Die so ermittelte Wahrscheinlichkeitsverteilung genügte jedoch für eine Entscheidungsfindung noch nicht, denn die Einhaltung des Kostenziels hatte in den Augen des Bundes gegenüber dem Terminziel klar die höhere Priorität. Zur Kostenberechnung wurden typische Szenarien ausgewählt (nördlichster und südlichster Durchschlagspunkt, frühester und spätester Durchschlagszeitpunkt sowie das wahrscheinlichste Szenario). Für alle übrigen Szenarien wurden keine Kosten berechnet. Ermittelt wurden die Kosten auf Basis der Gesamtkosten, das heisst unter Einbezug der Kosten für die Bahntechnik (BT) und die Risikopotenziale. Da zum Zeitpunkt der

Vergleichsstudie der Bahntechnikvertrag noch nicht vergeben war, basierten diese Kosten auf Annahmen der Bauherren. In der Kostenermittlung wurden die Folgen auf die direkten Produktionskosten (mengen- und zeitabhängig), die indirekten Kosten (Planungskosten, zusätzlicher Grunderwerb etc.) sowie die Auswirkungen auf die Risikopotenziale ermittelt. Es war im Projekt eine unbestrittene Tatsache, dass derselbe Tunnelmeter in konventioneller Technik von Sedrun her aufgefahren wesentlich teurer ausfallen würde als mittels TBM-Vortrieb von Faido her. Der Grund lag primär darin, dass die gesamte Logistik in Sedrun wesentlich komplizierter war (mehrfach gebrochene Transportkette mit Eisenbahn/Förderbandtransport über Tag – Stollenbahn im Zugangsstollen – Schachtförderung – Stollenbahn auf Tunnelniveau – Pneumtransporte im Vortriebsbereich) als bei einem Vortrieb von Faido her. Zudem wurde der Bereich der vertraglich vereinbarten Optionen verlassen, sodass (basierend auf der vertraglich geregelten Kostengrundlage) neue Einheitspreise vereinbart werden mussten. Unter Berücksichtigung der erwarteten Folgekosten liessen sich die Mehrkosten nur dann rechtfertigen, wenn durch die Losgrenzenverschiebung die Bauzeit erheblich ver-



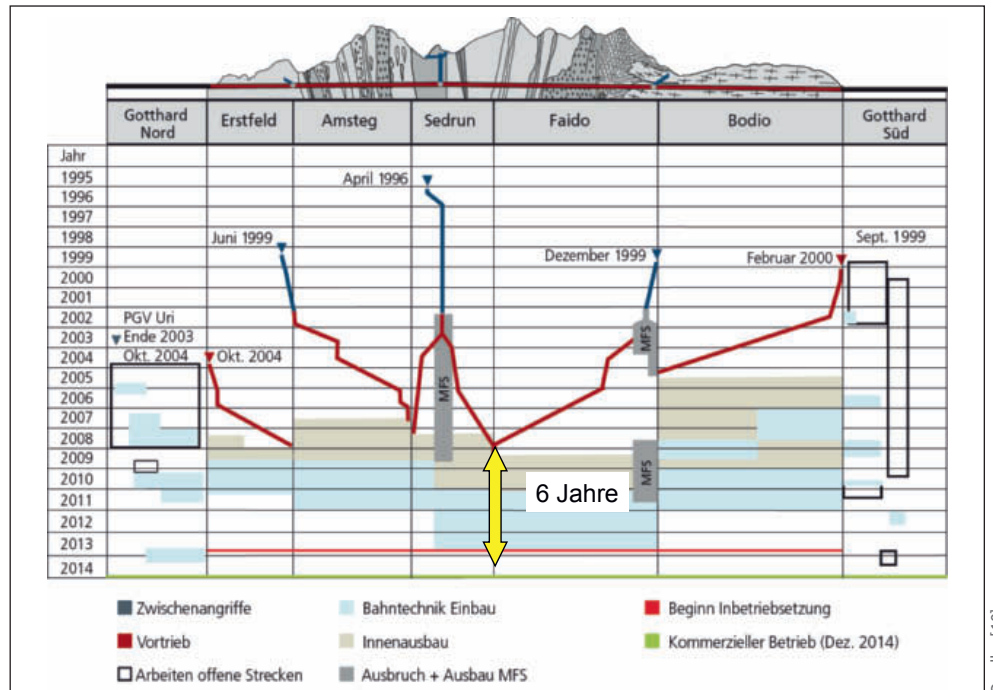
Quelle: [9]



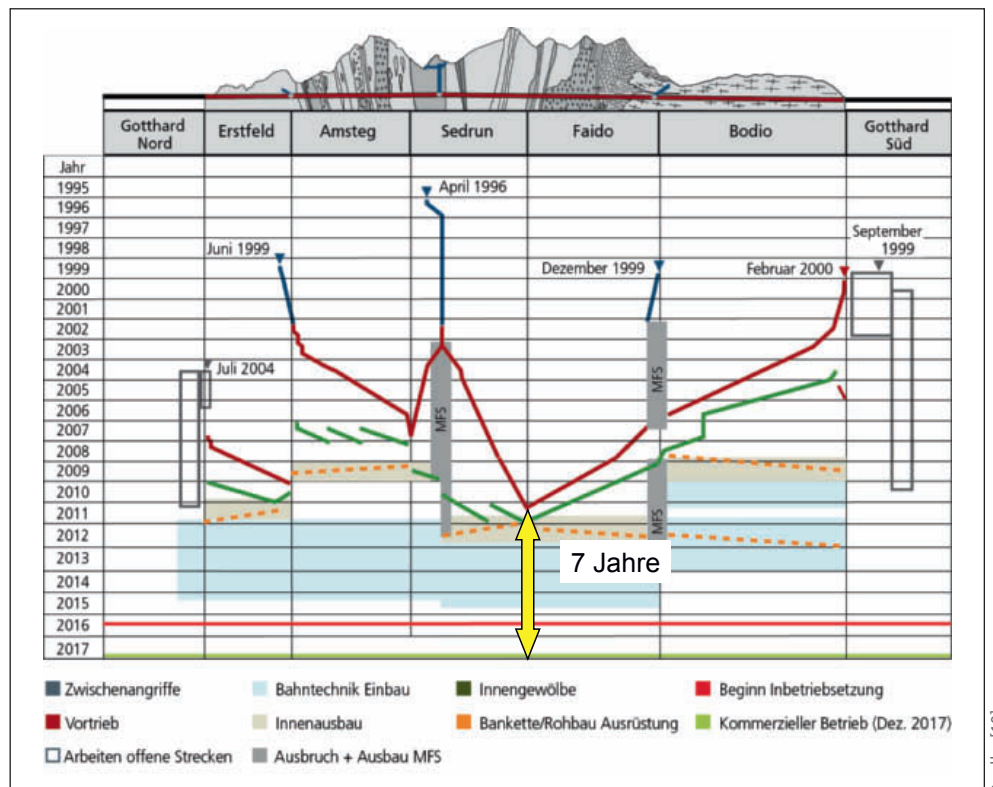
Quelle: [9]

► Bilder 13a und b Umhüllende aller Szenarien mit und ohne Losgrenzenverschiebung

kürzt werden konnte, womit die gesamten zusätzlichen Vorhaltekosten sanken und die Risikopotenziale massiv beschränkt werden konnten. Der Nachweis gelang insofern, als dass für beide Szenarien praktisch gleich hohe Gesamtkosten prognostiziert wurden, wobei die Risikopotenziale für den Fall mit Losgrenzenverschiebung erheblich kleiner ausfielen, was dann das ausschlaggebende Argument für das Auslösen der Losgrenzenverschiebung war. Die Zusatzinvestitionen für die Losgrenzenverschiebung waren somit eine terminsichernde Massnahme (siehe ►Bild 13) und eine Investition zur Stabilisierung der Endkosten, insgesamt also eine risikomindernde Massnahme. Als wahrscheinlichstes Szenario wurde 2007 angenommen, dass der letzte Durchschlag im Sommer 2012 ungefähr bei Km 229.1 stattfinden werde. Tatsächlich hat er dann am 23. März 2011 bei Km 227.401 stattgefunden. Was war geschehen? Wenige Tage nach dem Entscheid zugunsten der Losgrenzenverschiebung wurde in Sedrun eine unerwartet schlechte Störzone angefahren. Anstelle von drei kurzen Störungen, wie an der Oberfläche vermutet, handelte es sich um eine 100 m lange Störung, wodurch der in Sedrun erarbeitete Vorsprung auf das Vertragsterminprogramm von rund einem Jahr rasch wieder dahinschmolz. Umgekehrt erwies sich die Durchquerung der Piora-Mulde (PM) in der Oströhre als so günstig, dass auf eine weitere vortriebsbehindernde Sondierbohrung verzichtet werden konnte. Trotz teilweise ungünstigen geologischen Verhältnissen im Medelser Granit wurden mit dem TBM-Vortrieb gute Leistungen erzielt, sodass sich der Vortrieb von Faido her günstig entwickelte. Dank dem Erkenntnisgewinn aus dem TA Sedrun zum Themenkreis der Unterquerung der Stauanlagen konnte trotz



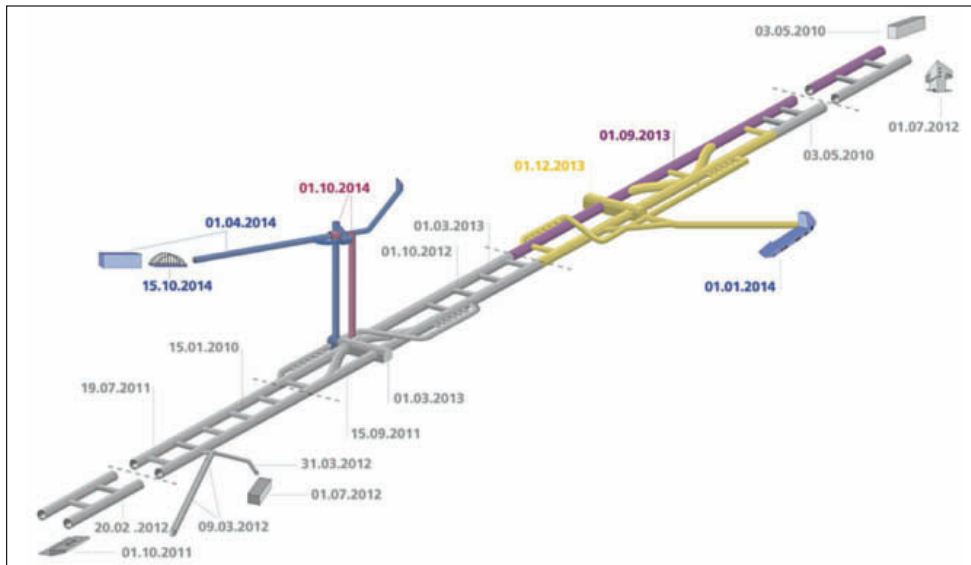
Quelle: [10]



Quelle: [10]

► Bilder 14a und b Vergleich Termsituation 2002 (oben) und 2009 vor dem Effekt des Projekts «Capricorn»

teilweise hohen, im Vergleich zu Sedrun gar sehr hohen Wasserzutritten im TA Faido auf langwierige Injektionsmassnahmen aus den Tunnelröhren heraus verzichtet werden. Dies brachte mehrere Monate Zeitersparnis gegenüber der damals aktuellen Terminprognose. Die Massnahmenplanung konzentrierte sich in Absprache mit dem Eigentümer der Stauanlage Santa Maria



Quelle: [10]

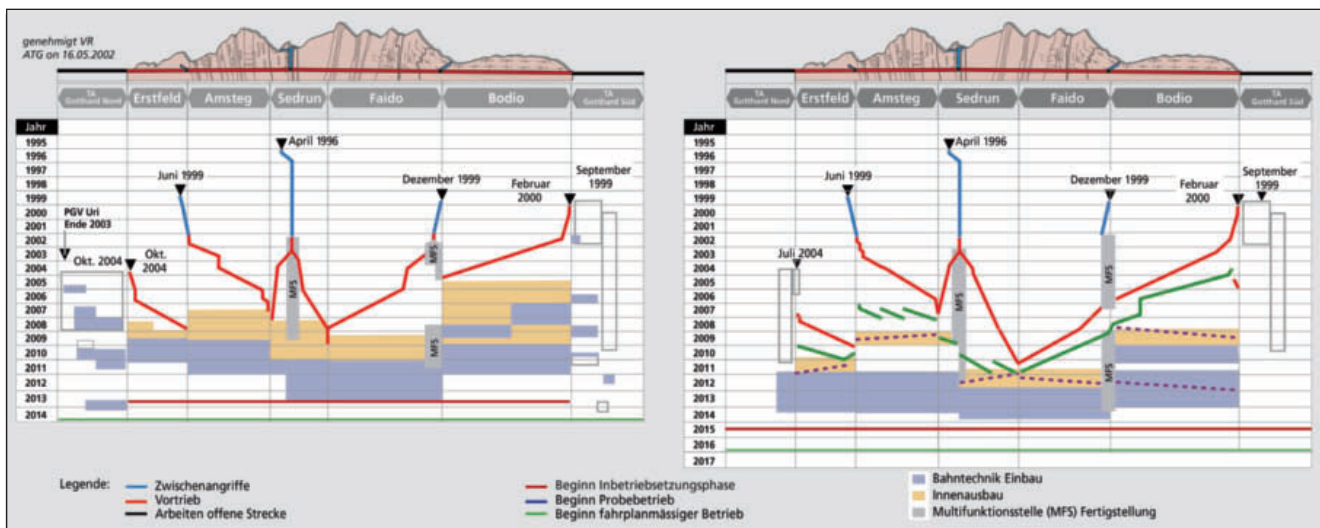
► Bild 15 Übergabetermine Rohbau an Bahntechnik gemäss Projekt «Capricorn»

im Sinne einer Gesamtoptimierung auf allfällige Massnahmen an der Mauer selbst. Obwohl die Vortriebsleistung von Sedrun her geringer war, als zum Zeitpunkt der Erteilung des Zusatzauftrags angenommen, war die Losgrenzenverschiebung insofern ein Erfolg, als dass sie die Voraussetzung dafür schuf, das Gesamtterminprogramm um ein Jahr zu verkürzen (Projekt «Capricorn»).

5.3 Projekt «Capricorn» – Verkürzung der Gesamtbauzeit um ein Jahr

2008 wurde auf Basis der Ausschreibung aus dem Jahr 2006 mit dem Unternehmer Bahntechnik der Werkvertrag unterzeichnet. Dieser sah die Inbetriebsetzung des GBT per Ende 2017 vor. Im Verlaufe des Jahres 2008 konnten einige positive Effekte festgestellt werden, darunter die sehr guten Vortriebsleistungen im TA Erstfeld, die Realisierung der Losgrenzenverschiebung Sedrun/Faido, die reduzierten Vorauserkundungsmassnahmen im TA Faido sowie das unproblematische Durchfahren

Meilenstein G (zweiter Hauptdurchschlag, siehe ►Bild 5) um fast ein Jahr früher prognostizieren. Im Jahr 2009 setzte sich dann eine ATG-interne Arbeitsgruppe intensiv mit der Klärung der komplexen Abhängigkeiten zwischen den Hauptlosen des GBT auseinander und kam zum Schluss, dass durch eine koordinierte Umstellung der Bauabläufe sowohl beim Rohbau und der Rohbau-Ausrüstung als auch bei der Bahntechnik die technische Realisierbarkeit einer Inbetriebsetzung des GBT per Dezember 2016 machbar wäre. Ab dem Herbst 2009 wurde mit einer klaren Strategie an der Realisierung des Optimierungspotenzials mit den betroffenen Unternehmern gearbeitet, um sie einer Verhandlungslösung zuzuführen. In intensiven, klausurmässigen Diskussionen wurden die Optimierungspotenziale bei allen Beteiligten (Rohbau, Rohbau-Ausrüstung, Bahntechnik) abgesprochen und neue Übergabetermine, Nahtstellen und Logistikkonzepte miteinander vereinbart. Für rund 10 Mio. CHF Zusatzinvestitionen konnte schliesslich eine um ein Jahr kürzere Bauzeit bei gleichzeitiger Reduktion der Risiko-



Quelle: ATG

► Bilder 16a und b Vergleich Bauprogramm 2002 (nach Vertragsunterzeichnung) mit Ist-Programm 2015

potenziale erreicht werden. Im Umfeld um den Hauptdurchschlag vom 15. Oktober 2010 sahen alle Beteiligten eine grosse Chance, nicht nur den Durchschlag als wesentlichsten Meilenstein im Bauverlauf des GBT zu feiern, sondern mit der um ein Jahr früheren Inbetriebnahme eine weitere positive Nachricht über das Projekt verkünden zu können. Ohne die positive Grundhaltung der Beteiligten – inklusive der Projektgenieure, die infolge des Entscheids stark unter Termindruck gekommen waren, und des künftigen Betreibers – wäre das Projekt

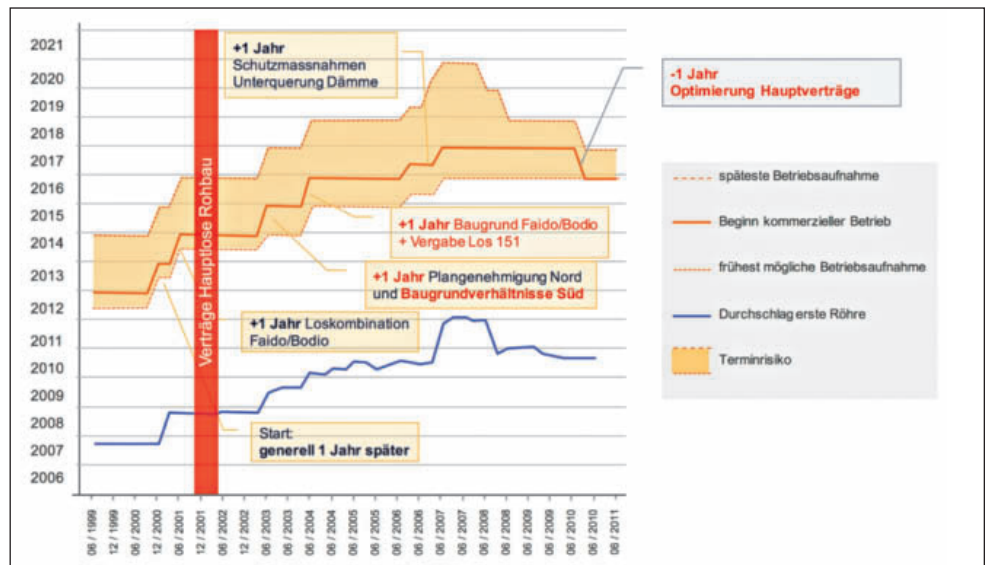
«Capricorn» nicht möglich gewesen. Mit dem Bauprogramm aus dem Projekt «Capricorn» lag bei Abschluss der Vortriebsarbeiten ein optimiertes, allseits abgestimmtes und erstmals von den Vortriebsrisiken befreites tagesscharfes Fertigstellungsprogramm als Steuerungsinstrument vor (siehe ► Bild 15).

6 ERKENNTNISSE

Ein direkter Vergleich der Bauprogramme 2002 und 2015 ist auf den ► Bildern 16a und b zu sehen. Dabei sind die erheblichen Differenzen in den Teilabschnitten Erstfeld, Faïdo und Bodio leicht erkennbar. Die Baugeschichte des GBT zeigt eindrücklich, welche grosse Hebelwirkung eine aktive Terminsteuerung hat. Zu Beginn eines solchen Mega-Projektes haben sich die Projektverantwortlichen mit einem grossen Portfolio an Chancen und Gefahren auseinanderzusetzen. Dieses Chancen- und Gefahrenportfolio muss seinen Niederschlag in einer Prognosebandbreite oder in der Weg-Zeit-Darstellung in einem Prognosefächer finden. Auch am GBT mussten sich alle am Projekt Beteiligten darauf einstellen, dass ein Teil der Risiken tatsächlich eintreten und zusätzlich zuvor unbekannte Einflüsse auftreten würden. Gleichzeitig eröffnen sich aber immer wieder auch Chancen zur Verbesserung der Situation, welche es gezielt zu nutzen gilt. Gerade bei langjährigen Projekten erweist sich die Terminsteuerung oftmals als träges Instrument, da die Umsetzung von terminsichernden Massnahmen nicht selten an öffentlich-rechtliche Änderungsverfahren zur Plangenehmigung und/oder an Bestellungsänderungen beim Unternehmer geknüpft ist. Diese Fristen gilt es immer vorausschauend im Auge zu behalten.

Damit sich die Terminsteuerung erfolgreich umsetzen lässt, müssen die folgenden Grundprinzipien berücksichtigt werden:

- » Definition einer eindeutigen und nachvollziehbaren Bezugsbasis,
- » Ermittlung und Kommunikation der Prognosebandbreiten,
- » kontinuierlicher, stufengerechter Soll-Ist-Vergleich,



► Bild 17 Entwicklung der Terminprognosen am GBT

- » Festlegung geeigneter Gegensteuerungsmassnahmen im Falle von Abweichungen unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die weiteren Projektziele (Kosten, Reputation etc.),
- » der Wille zum rechtzeitigen Entscheid.

► Bild 17 zeigt, wie die Mechanismen beim GBT gespielt haben. Mit der Aufnahme der kommerziellen Inbetriebnahme per Ende 2016 wurde der obere Grenzwert des Prognosefächers bei der Vertragsunterzeichnung eingehalten. Dies ist das Resultat der grossen Verwerfungen im Terminprogramm sowohl auf der Nord- als auch auf der Südseite. ■

Literatur

- [1] Erläuterungen des Bundesrates zur Volksabstimmung vom 27. September 1992
- [2] UVEK, Bundesamt für Verkehr: NEAT-Controlling-Weisung, 1997
- [3] Standberichte ATG (II/2008 und I/2011)
- [4] Rutschmann, W.: Neue Eisenbahn-Alpentransversale Gotthard-Basislinie – Von ersten Studien zum Bauprojekt 1975; SBB Historic, 2004
- [5] Submissionsbeilage Hauptlose GBT; AlpTransit Gotthard, 2000
- [6] Ehrbar, H.; Sala, A.; Wick, R.: Vortriebe am Gotthard-Basistunnel – ein Rückblick; Swiss Tunnel Congress 2012
- [7] Ehrbar, H.; Schoch, S.: Geologische Risiken und Massnahmenplanung am Beispiel des Teilabschnitts Sedrun; Symposium «Geologie AlpTransit 2005», ETH Zürich, 2006
- [8] Simoni, R.: Gotthard-Achse im Fokus; Tunnel 4, 2009
- [9] Ehrbar, H.; Beeler, P.; Neuenschwander, M.; Bianchi, M.: Tough decisions for mega-projects – A methodology for decision making on time-relevant measures at the Gotthard Base Tunnel; Vancouver, 2010
- [10] Lieb, R.: Das Projectcontrolling beim Gotthard-Basistunnel; ETH Zürich, 2013

Quelle: Heinz Ehrbar